Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 22, No. 1, Spring 2024, p. 71-88

The Effect of Deficit Irrigation on Grain Yield and Some Physiological Indicators of Sunflower (*Helianthus annus* L.) Cultivars

D. Omidinasab[1*], M. Meskarbashee[2], A. Rahnama Ghahfarokhi[3]

1- PhD Graduate, Department of Plant Production and Genetics, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2- Professor, Department of Plant Production and Genetics, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
(*- Corresponding Author Email: Davoudomidinasab@gmail.com)

Received: 30 June 2023 Revised: 05 October 2023 Accepted: 11 October 2023 Available Online: 11 October 2023	**How to cite this article:** Omidinasab, D., Meskarbashee, M., & Rahnama Ghahfarokhi, A. (2024). The Effect of Deficit Irrigation on Grain Yield and Some Physiological Indicators of Sunflower (*Helianthus annus* L.) Cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research, 22*(1), 71-88. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2023.83198.1258

Introduction

Sunflower, one of the primary oilseed crops worldwide, is cultivated extensively due to its suitability for agricultural needs, high oil yield, and nutritional and medicinal value. However, drought remains the most critical limiting factor affecting sunflower productivity. In arid and semi-arid regions, the intensity of drought stress is predicted to increase in the future. Unfortunately, severe drought stress leads to significant reductions in both seed and oil production. While sunflower is moderately drought-tolerant, understanding the physiological and agronomic aspects of drought stress is crucial for sustainable management. Given that water, scarcity poses a significant threat to crop productivity and environmental resources are diminishing, effective irrigation management under water scarcity is becoming increasingly important.

Materials and Methods

In order to study the effects of deficit irrigation on grain yield and physiological traits of six sunflower cultivars, a field experiment was carried out in a split-plot arrangement based on randomized complete block design with three replications in 2019-2020 growing season. The experimental site was located in the research farm of the Safiabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. Main plots consisted of three irrigation regimes including; control, moderate, and severe deficit irrigation (50, 70, and 90% of available moisture, respectively), and sub plots consisted of six sunflower cultivars including; Oscar, Felix, Shakira, Savana, Labad and Monaliza.

Results and Discussion

Different levels of deficit irrigation differently caused a significant reduction in stomatal conductance, photosynthetic rate, chlorophyll index, relative water content, grain yield, grain number per head, grain weight per head, and oil yield, when compared to control. Oscar cultivar with the highest stomatal conductance,

https://doi.org/10.22067/jcesc.2023.83198.1258

photosynthetic rate, and chlorophyll index, produced the highest economic oil and grain yield while the Shakira cultivar showed the lowest grain yield values in different levels of deficit irrigation. Oscar in 50% of field capacity and Shakira in 90% of field capacity showed the highest and lowest grain yield values (5.34 and 2.67 ton ha^{-1}, respectively). Labad maintained the highest grain yield in 70 and 90% of field capacity relative to the control (4.41 and 4.28 ton ha^{-1}, respectively). It seems that deficit irrigation leads to a significant reduction in grain yield by reducing the reproductive stage, producing fewer seeds, and the impossibility of transferring assimilates to fill the grains. Moreover, the reduction of oil percentage is probably due to the acceleration of achene ripening, giving the plant a chance to escape from drought, because carbohydrates first accumulate in the achenes and then turn into oil or any other substance. Photosynthetic rate, stomatal conductance, light absorption, relative water content, leaf area index, chlorophyll index, and transpiration rate decreased by 49, 25, 28, 26, 48, 22 and 78%, respectively in severe deficit irrigation, while water use efficiency and canopy temperature increased by 58 and 16 % respectively.

Conclusion

Various levels of deficit irrigation exerted an influence on the physiological characteristics and grain yield of sunflower cultivars. The extent of water scarcity emerged as a significant factor shaping the cultivar responses to deficit irrigation. Felix and Labad exhibited higher oil yield and are thus recommended for cultivation in Dezful and analogous regions, owing to their superior grain yield and ability to sustain grain yield under deficit irrigation conditions.

Acknowledgment

We gratefully acknowledge funding support from Shahid Chamran University of Ahvaz project number SCU.AA1401.783.

Keywords: Chlorophyll index, Drought stress, Grain yield, Photosynthetic rate, Stomatal conductance

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۲، شماره ۱، بهار ۱٤٠۳، ص ۸۸-۷۱

تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد دانه و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی ارقام آفتابگردان (*Helianthus annus* L.)

داود امیدی نسب[۱*]، موسی مسکرباشی[۲]، افراسیاب راهنما قهفرخی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۹

چکیده

به‌منظور بررسی عملکرد دانه و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی ارقام آفتابگردان در شرایط کم‌آبیاری، پژوهشی مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۳۹۹ – ۱۳۹۸ به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد انجام شد. سه سطح کم‌آبیاری شامل: شاهد، به‌صورت آبیاری براساس تخلیه ۵۰ و کم‌آبیاری بر اساس تخلیه ۷۰ و ۹۰ درصد رطوبت قابل‌استفاده در کرت‌های اصلی و شش رقم آفتابگردان اسکار، فلیکس، شکیرا، ساوانا، لاباد و مونالیزا در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. تیمارهای کم‌آبیاری در مقایسه با شاهد به‌طور متفاوتی سبب کاهش معنی‌دار تعداد و وزن دانه در طبق، عملکرد دانه، شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز و محتوای آب نسبی برگ شد. کم‌آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی سبب کاهش تعداد دانه در طبق، وزن دانه در طبق، عملکرد دانه و درصد روغن به‌ترتیب به میزان ۴۶، ۵۰، ۵۰ و ۲۴ درصد در مقایسه با شاهد شد. این تیمار همچنین موجب کاهش ۴۹، ۲۵، ۲۸، ۲۶، ۴۸، ۲۲ و ۷۸ درصدی به‌ترتیب سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، جذب نور، محتوای آب نسبی برگ، شاخص سطح برگ، شاخص کلروفیل و سرعت تعرق شد، در حالی‌که باعث افزایش ۵۸ و ۱۶ درصدی شاخص کارایی مصرف آب و دمای تاج پوشش برگ در مقایسه با شاهد شد. ارقام اسکار و شکیرا به‌ترتیب در تیمار شاهد و کم‌آبیاری ۹۰ درصد، با میانگین عملکرد دانه ۵/۳۴ و ۲/۶۷ تن در هکتار، بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد را تولید نمودند. در نهایت، ارقام فلیکس و لاباد با توجه به حفظ و تولید عملکرد دانه بالا در شرایط کم‌آبیاری، به‌عنوان ارقام برتر پیشنهاد می‌گردند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، سرعت فتوسنتز، شاخص کلروفیل، عملکرد دانه، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

آفتابگردان (*Helianthus annus* L.) یکی از دانه‌های روغنی عمده در جهان است که به‌دلیل مناسب بودن نیازهای زراعی، عملکرد بالای روغن، بالا بودن ارزش غذایی و نداشتن عوامل ضد تغذیه‌ای، سطح زیر کشت آن افزایش یافته است (Machekposhti, Shahnazari, Ahmadi, Aghajani, & Ritzema, 2017). کشور ایران برای رفع نیازهای داخلی سالانه میلیون‌ها دلار صرف واردات روغن‌های گیاهی و کنجاله دانه‌های روغنی می‌نماید و متأسفانه ۹۰ درصد روغن خوراکی مورد نیاز کشور از محل واردات تأمین و تنها ۱۰ درصد روغن در کشور تولید می‌شود (Kazemalilou, Najafi, & Reyhanitabar, 2017). لذا، کاهش واردات روغن‌های گیاهی مستلزم برنامه‌ریزی همه‌جانبه و اصولی در زمینه حمایت از توسعه کشت دانه‌های روغنی می‌باشد. تنش آبی از عوامل اصلی محدودکننده تولید آفتابگردان در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار رفته (Moradi- Ghahderijani, Jafarian, & Keshavarz, 2017) و با تأثیر بر روی خصوصیات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی، مولکولی، فرآیندهای سلولی و کل گیاه، موجب کاهش قابل‌توجه عملکرد و کیفیت محصول آفتابگردان می‌گردد (Canavar & Kaptan, 2014). کشت بهاره آفتابگردان می‌تواند به‌طور مستقیم تحت تأثیر تنش گرما در دوره‌ی گل‌دهی و تنش خشک‌سالی در طول

۱- دانش‌آموخته دوره دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۲- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۳- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Davoudomidinasab@gmail.com)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2023.83198.1258

دوره‌ی رشد قرار بگیرد و هر دو عامل نیز باعث کاهش شدید عملکرد دانه و روغن می‌گردند (Debaeke, Casadebaig, Flenet, & Langlade, 2017). کم‌آبی به‌دلیل محدودیت در تأمین مواد معدنی از خاک، باعث بهره‌وری پایین در محصول آفتابگردان می‌شود (Canavar *et al.*, 2014). با این حال میزان کاهش عملکرد، به شدّت کمبود آب و ویژگی‌های رقم بستگی دارد (Ghaffari, Toorchi, Valizadeh, & Shakiba, 2012). گزارش شده است که تنش خشکی تا ۵۰ درصد عملکرد دانه آفتابگردان را کاهش می‌دهد (Totsky & Lyakh, 2015). با توجه به رخداد مداوم خشکسالی‌های چندسال اخیر کشور و کاهش شدید منابع آب زیرزمینی، زراعت آفتابگردان در مقاطعی از دوران رشد ممکن است دچار کم‌آبی شود، بنابراین شناسایی ژنوتیپ‌هایی که بتوانند در چنین شرایطی کاهش عملکرد کم‌تری داشته باشند، ضروری است. گزارش شده است، کمبود آب در طی مراحل رشد زایشی موجب کاهش تعداد و وزن دانه‌ها در طبق آفتابگردان می‌گردد (Asadzadeh, Moosavi, & Seghatoleslami, 2017; Mojaddam *et al.*, 2016; Karimi-Kakhaki & Sepehri, 2010). در تحقیقات مشابه از جمله مقصودی و همکاران (Maghsoudi, Lak, Ghaffari, Alavi Fazel, & Sakinezhad, 2019) و ایزان و همکاران (Izan, Javanmard, Shekari, Sabaghnia, & Amin abbasi, 2020)، کاهش عملکرد دانه‌ی آفتابگردان و داوودی و همکاران (Davodi, Mirshekari, Mirmahmodi, Farahvash, & Yazdanseta, 2019)، کاهش درصد روغن دانه در شرایط کم‌آبی، گزارش گردیده است. از دلایل مهم کاهش عملکرد دانه‌ی آفتابگردان در مواجهه با تنش کم‌آبی، مختل شدن فعالیت‌های فیزیولوژیک از جمله فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای است (Darvishzadeh *et al.*, 2019). تحت تأثیر شرایط کم‌آبی، در بافت‌های گیاه کمبود آب ایجاد شده و منجر به کاهش قابل‌توجهی در فتوسنتز گیاه می‌گردد (Gholinezhad, Darvishzadeh, & Bernousi, 2013). در تحقیقاتی دیگر نیز به کاهش سرعت فتوسنتز تحت تأثیر کمبود آب اشاره شده است (Abbasi Syhejani, Farhoush, Kazemi arbat, & Khurshidi benam, 2012; Yazdandoost hamedani, Ghobadi, Ghobadi, Jalali-honarmand, & Saeidi, 2019). وقتی پتانسیل آب در خاک کاهش می‌یابد، کاهش محتوای رطوبت نسبی آب و بسته شدن روزنه‌ها جزو اولین اثرات تنش کمبود آب به‌شمار رفته که از طریق اختلال در ساخت مواد فتوسنتزی موجب کاهش میزان عملکرد آفتابگردان می‌شوند (Khalilvand Behrouzyar, Yarnia, Farajzadeh, & Herischi, 2014). در پژوهشی مشابه نیز کاهش هدایت روزنه‌ای در اثر بسته شدن روزنه‌ها گزارش شده است (Mehrpoyan, 2011). گزارش شده است که کاهش شاخص سطح برگ به‌واسطه تنش آبی، به‌دلیل کاهش میزان سرعت و گسترش سطح برگ‌ها به‌واسطه کاهش آماس سلولی است (Soleymani, 2017). در تحقیقات بسیاری از محققین به کاهش فعالیت‌های فیزیولوژیک آفتابگردان همانند سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، درصد جذب نور، محتوای نسبی آب برگ، شاخص سطح برگ، شاخص کلروفیل و سرعت تعرق در شرایط محدودیت آب اشاره شده است (Cechin, Corniani, Fumis, & Cataneo, 2010; Vanaja *et al.*, 2011; Hadi, Khazaei, Babaei, Daneshian, & Hamidi, 2012; Hemmati & Soleymani, 2014; Geetha, Sivasankar, & Prayaga, 2017; Ghooshchi, 2017; Arab, Yadavi, Balochi, & Khadem hamzeh, 2018; Maghsoudi, Lak, Ghaffari, Alavi Fazel, & Sakinezhad, 2020; Izan *et al.*, 2020). برخی دیگر از صفات فیزیولوژیک از جمله دمای تاج پوشش برگ و کارایی مصرف آب فتوسنتزی، از جمله صفاتی هستند که در شرایط کمبود آب روند افزایشی پیدا می‌نمایند (Kaya & Kolsarici, 2011; Ghaffari, 2014). بنابراین به‌نظر می‌رسد، بررسی عواملی که بر میزان عملکرد دانه و فعالیت‌های فیزیولوژیک آفتابگردان تأثیرگذار هستند، حائز اهمیت بوده و با توجه به این‌که بخش وسیعی از اراضی زیر کشت ایران در شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک با میانگین بارندگی سالانه حدوداً ۲۴۰ میلی‌متر قرار دارند (Tahramooz & Ghalavand, 2018)، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کم‌آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی ارقام جدید و امیدبخش آفتابگردان و بررسی روند تغییرات شاخص‌های فیزیولوژیکی ارقام مختلف آفتابگردان در شرایط کم‌آبیاری و همچنین دست‌یابی به ارقام مناسب آفتابگردان از نظر عملکرد کمی و کیفی مطلوب در شرایط شمال خوزستان اجرا گردید، تا از این طریق بتوان با شناخت بیش‌تر ویژگی‌های ارقام آفتابگردان و سازگار با شرایط منطقه؛ با مصرف آب کم‌تر، به کارایی بالاتر آب با حفظ و یا افزایش تولید دسترسی پیدا کرد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر، در قالب یک آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در سال زراعی ۱۳۹۹ –۱۳۹۸ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد اجرا گردید. مرکز تحقیقات صفی‌آباد، در شهرستان دزفول در شمال استان خوزستان، با طول جغرافیایی شرقی ۴۸ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی شمالی ۳۲ درجه و ۲۲ دقیقه، ارتفاع از سطح دریا ۱۴۰ متر و متوسط بارندگی سالیانه آن نیز ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد. قبل از کشت، نمونه‌برداری از خاک مزرعه انجام و ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی آن تعیین گردید (جدول ۱).

آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح، شامل: آبیاری مطلوب (شاهد)، بر اساس تخلیه ۵۰ درصد رطوبت قابل‌استفاده خاک و کم‌آبیاری نیز به‌ترتیب بر اساس تخلیه ۷۰ و ۹۰ درصد رطوبت قابل‌استفاده و رقم به‌عنوان عامل فرعی در شش سطح، شامل ارقام: (اسکار (شاهد منطقه)، فلیکس، ای اس شکیرا، ای اس ساوانا، لاباد، و مونالیزا، در نظر گرفته شدند. ارقام مورد بررسی آفتابگردان همگی از نوع هیبرید سینگل کراس و ویژگی آن‌ها نیز در جدول ۲ ارائه شده است.

کشت در تاریخ بیست و سوم اسفندماه ۱۳۹۸ به‌صورت دستی، در تراکم ۱۱ بوته در مترمربع و فواصل بین بوته‌ای ۱۲ سانتی‌متر انجام گرفت. تا مرحله هشت برگی، آبیاری‌ها بر اساس تخلیه ۵۰ درصد رطوبت از ظرفیت زراعی خاک در عمق توسعه مؤثر ریشه (صفر تا ۴۰ سانتی‌متر) در همه تیمارها، انجام و از این مرحله به بعد تیمارهای آبیاری دقیقاً اعمال گردید. عملیات آماده‌سازی زمین قبل از کشت به‌صورت شخم، دو دیسک عمود برهم و ایجاد جوی و پشته انجام شد. هر کرت آزمایشی شامل چهار خط کاشت به طول چهار متر با فاصله خطوط ۷۵ سانتی‌متر بود. بین کرت‌ها در هر تکرار، دو ردیف کشت‌نشده (به‌میزان یک و نیم متر) و بین تکرارها نیز دو متر، به‌عنوان فاصله در نظر گرفته شد. مراقبت‌های زراعی از جمله کوددهی و حذف علف‌های هرز، حسب نیاز انجام شد. به‌منظور تعیین درصد رطوبت خاک و زمان دقیق آبیاری در تیمارهای کم‌آبیاری، بلافاصله پس از آبیاری، به‌صورت روزانه و متوالی و با استفاده از آگر از عمق صفر تا ۴۰ سانتی‌متری خاک، نمونه‌برداری انجام و بلافاصله به آزمایشگاه خاک‌شناسی مرکز تحقیقات صفی‌آباد منتقل و پس از اندازه‌گیری وزن تر و خشک نمونه‌ها، از رابطه (۱) جهت تعیین درصد رطوبت وزنی، استفاده گردید.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش
Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil

جرم مخصوص ظاهری Bulk density ($g\ cm^{-3}$)	بافت خاک Soil texture	رطوبت حجمی Volumetric humidity		اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($ds\ m^{-1}$)	عمق Depth (cm)
		نقطه پژمردگی دائم PWP[2] (%)	ظرفیت زراعی FC[1] (%)			
1.61	لومی رسی سیلتی Silty clay loam	17.9	33	7.64	1.3	0- 40

جدول ۲- مشخصات ارقام مورد آزمایش
Table 2- Characteristics of cultivars

Cultivar رقم	طول دوره‌ی رویش Length of growing period (day)	ارتفاع ساقه Stem height (cm)	قطر طبق Head diameter (cm)	وزن هزار دانه 1000- grain weight (g)	عملکرد روغن Grain oil (%)	عملکرد دانه Grain yield (ton ha^{-1})
Oscar اسکار	118-133	163-205	14-19	33-44	35-49	1632-4917
Felix فلیکس	118-133	165-201	14-18	31-48	34-49	1951-4806
شکیرا Shakira	104-125	144-185	13-18	31-53	37-48	1631-4105
ساوانا Savana	118-133	165-196	13-17	31-44	39-51	1948-4618
Labad لاباد	118-133	166-209	11-18	32-65	25-45	1895-5810
مونالیزا Monaliza	104-125	139-185	11-18	38-50	33-50	2832-4232

مأخذ: شرکت شهید رجایی دزفول. Source: Shahid Rajaei Company of Dezful.

$$\text{درصد رطوبت وزنی خاک} = \frac{\text{وزن تر نمونه خاک} - \text{وزن خشک نمونه خاک}}{\text{وزن خشک نمونه خاک}} \times ۱۰۰ \qquad (۱)$$

1- Field Capacity
2- Permanent Wilting Point

پس از مشخص شدن درصد رطوبت وزنی خاک، درصد رطوبت حجمی از حاصل‌ضرب درصد رطوبت وزنی در وزن مخصوص ظاهری خاک (جدول ۱) محاسبه و سپس با استفاده از رابطه (۲)، درصد آب قابل‌استفاده (D) (Martin, Stegman, & Fereres, 1990) تعیین گردید:

$$D(\%) = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n}\frac{FCi-\theta i}{FCi-Wp} \times 100 \qquad (۲)$$

که در آن n تعداد نمونه خاک گرفته‌شده از عمق مؤثر توسعه ریشه، FCi رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه در نمونه i ام، θi رطوبت خاک در نمونه i ام و Wp رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم می‌باشد و درصد تخلیه آب قابل‌استفاده نیز با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید (Vanclooster, Gonzalez, Vanderborght, Mallants, & Diels, 1994).

$$\text{تخلیه آب قابل‌استفاده (٪)} = ۱۰۰ - D \qquad (۳)$$

درصد جذب نور در کانوپی در زمان شروع گل‌دهی، به‌وسیله‌ی دستگاه نورسنج (Testo 545 (Lux fc)) از قسمت‌های بالا و پایین کانوپی اندازه‌گیری انجام و بعد از میانگین‌گیری، با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد:

$$\%Iabs= (1 - I / I_0)\times 100 \qquad (۴)$$

در این رابطه Iabs%: درصد نور جذب‌شده توسط کانوپی، I_0: نور بالای کانوپی و I: نور زیر کانوپی می‌باشد. روند تغییرات میزان هدایت روزنه‌ای برگ، در مرحله‌ی ۵۰ درصد گل‌دهی، با استفاده از دستگاه پرومتر (Decagon Devices, Inc, USA)، اندازه‌گیری شد. روند تغییرات سرعت فتوسنتز و سرعت تعرق در واحد سطح برگ نیز با استفاده از دستگاه تحلیل‌گر گاز مادون قرمز (IRGA, model: LCA_4, ADC bioscientific Ltd. Hodeston, Uk) ثبت گردید و پس از آن کارایی مصرف آب فتوسنتزی با استفاده از رابطه‌ی (۵) محاسبه گردید:

$$\text{کارایی مصرف آب فتوسنتزی} = \frac{\text{سرعت فتوسنتز}}{\text{سرعت تعرق}} \qquad (۵)$$

دمای تاج پوشش برگ، در مرحله‌ی ظهور طبق از قسمت‌های بالا و پایین کانوپی آفتابگردان، با استفاده از دستگاه دماسنج حرارتی (Infrared Thermometer) اندازه‌گیری و سپس میانگین آن در هر واحد آزمایشی، محاسبه شد. اندازه‌گیری میزان سبزینگی (شاخص کلروفیل)، در زمان ۵۰ درصد گل‌دهی با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (Monilota SPAD-502 Chlorophyll meter, Japan) انجام شد. برای محاسبه محتوای نسبی آب برگ، هنگام سپیده‌دم و در زمان ظهور طبق و گرده‌افشانی، نمونه‌برداری با استفاده از قیچی از آخرین برگ توسعه‌یافته تمامی تیمارهای آزمایشی انجام و نمونه‌ها با استفاده از کیسه‌های پلاستیکی، بلافاصله درون یخ قرار گرفته و سریعاً به آزمایشگاه منتقل شد. ابتدا وزن تر (تازه) آن‌ها با ترازوی دقیق اندازه‌گیری و سپس تمامی نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر و در سردخانه، در دمای چهار درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و بعد از ۲۴ ساعت وزن اشباع برگ‌ها اندازه‌گیری و پس از آن برگ‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت دیگر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون الکتریکی قرار گرفته و وزن خشک هر کدام از آن‌ها اندازه‌گیری و سپس با استفاده از رابطه‌ی (۶) محتوای نسبی آب برگ هر نمونه تعیین گردید (Ritchie, Nguyen, & Holaday, 1990).

$$\text{محتوای نسبی آب} = \frac{LW_F - LW_D}{LW_S - LW_D} \times ۱۰۰ \qquad (۶)$$

که در آن به‌ترتیب LW_F: وزن تازه (تر) نمونه برگ، LW_S: وزن اشباع (تورم کامل) نمونه برگ، LW_D: وزن خشک نمونه برگ می‌باشند.

هنگامی که پشت طبق در ۹۰ درصد بوته‌ها به رنگ زرد مایل به قهوه‌ای درآمد و بذور رطوبتی معادل ۳۰ درصد داشتند، برداشت از خط وسط هر کرت با حذف دو بوته از ابتدا و انتها (معادل ۱/۲۰ متر مربع)، به‌صورت دستی انجام گرفت. پس از جداسازی دانه‌ها از طبق، دانه‌های پُر در پنج نمونه تصادفی طبق، شمارش و بعد از بوجاری به‌وسیله‌ی ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین انجام، سپس میانگین آن‌ها محاسبه و ثبت گردید. بعد از عملیات بوجاری نیز، دانه‌ها از طبق‌های برداشت‌شده هر کرت در دمای حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت (رطوبت ۱۴ –۱۳ درصد) در دستگاه آون قرار گرفته و سپس با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم، برای تعیین عملکرد دانه در واحد سطح (تن در هکتار) توزین شدند. برای تعیین درصد روغن دانه‌ی آفتابگردان، از بذور به‌دست‌آمده از هر کرت، یک نمونه‌ای تصادفی ۱۰ گرمی جدا و پس از آسیاب کردن، درصد روغن پودر دانه‌ها در آزمایشگاه، توسط دستگاه سوکسله (Model 2050) به روش استخراج پیوسته با استفاده از حلال غیرقطبی هگزان تعیین شد (Sezen, Yazar, Kapur, & Tekin, 2011). در نهایت، تجزیه واریانس داده‌ها با نرم‌افزار SAS 9.4 انجام و میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند و برای رسم شکل‌ها نیز از نرم‌افزار Excel 2016 استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثرات کم‌آبیاری و رقم بر درصد روغن دانه‌ی آفتابگردان و همچنین برهمکنش کم‌آبیاری و رقم بر تعداد دانه‌ی پُر در طبق، وزن دانه‌ی پُر در طبق، عملکرد دانه و شاخص سطح برگ در سطح احتمال پنج درصد و بر روی سرعت فتوسنتز، کارایی مصرف آب فتوسنتزی و سرعت تعرق در سطح احتمال یک درصد دارای تفاوت آماری معنی‌دار بود.

جدول ۳– میانگین مربعات صفات کمی و کیفی ارقام آفتابگردان در سطوح مختلف کم‌آبیاری

Table 3 -Mean squares of quantitative and qualitative traits of sunflower cultivars under different levels of deficit irrigation

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	تعداد دانه‌ی پُر در طبق Grain number per head	وزن دانه‌ی پُر در طبق Grain weight per head	عملکرد دانه Grain yield	درصد روغن Oil percentage
تکرار Replication	2	11301^{ns}	0.420^{ns}	0.004^{ns}	22.42^{ns}
کم‌آبیاری irrigation ficitDe	2	366972^{**}	301.4^{**}	3.65^{**}	321.08^{**}
خطای اصلی Error a	4	21048	4.620	0.056	19.947
رقم Cultivar	5	224084^{**}	261.6^{**}	2.62^{**}	118.9^{**}
کم‌آبیاری × رقم Deficit irrigation × Cultivar	10	28743^{*}	20.76^{*}	0.251^{*}	3.58^{ns}
خطای فرعی Error b	30	12751	9.57	0.115	15.32
ضریب تغییرات (٪) C.V	-	9.3	8.4	8.4	12.9

ns، * و ** به‌ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد احتمال (آزمون دانکن)

ns, * & ** non – significant & significant at the 5 & 1% probability level respectively (Duncan test)

جدول ٤– میانگین مربعات صفات فیزیولوژیک ارقام آفتابگردان در سطوح مختلف کم‌آبیاری

Table 4- Mean squares of physiological traits of sunflower cultivars under different levels of deficit irrigation

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	سرعت فتوسنتز photosynthetic rate	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	دمای تاج پوشش برگ Canopy temperature	جذب نور Light absorbtion	محتوای نسبی آب برگ Relative water content	شاخص سطح برگ Leaf area index	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	کارایی مصرف آب فتوسنتزی Water use efficiency	سرعت تعرق Transpiration rate
تکرار Replication	2	15.02**	2644^{ns}	0.83^{ns}	68.59^{ns}	302.2**	0.188^{ns}	1.48^{ns}	0.246**	50.33**
کم‌آبیاری irrigation ficitDe	2	130.33**	46976**	95.59**	1458.8**	2339.3**	3.69**	120.20**	0.583**	1036.6**
خطای اصلی Error a	4	10.37	2646	1.47	33.18	22.75	0.008	1.64	0.005	1.500
رقم Cultivar	5	74.03**	4214*	2.42^{ns}	259.45**	27.68*	0.297**	139.6**	0.041**	172.5**
کم‌آبیاری × رقم Deficit irrigation×Cultivar	10	8.24**	962^{ns}	1.03^{ns}	29.75^{ns}	13.33^{ns}	0.221**	2.099$^{n.s}$	0.095**	48.90**
خطای فرعی Error b	30	2.90	1581	3.13	53.01	9.65	0.063	6.177	0.008	0.714
ضریب تغییرات (٪) C.V	-	10.03	11.20	6.58	13.70	4.12	9.43	12.25	11.25	3.85

ns، * و ** به‌ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد احتمال (آزمون دانکن).

ns, * & ** non – significant & significant at the 5 & 1% probability level respectively (Duncan test).

اثرات کم‌آبیاری بر دمای تاج پوشش برگ در سطح احتمال یک درصد، اثرات کم‌آبیاری و رقم بر میزان هدایت روزنه‌ای، جذب نور کانوپی، محتوای نسبی آب برگ، شاخص کلروفیل در سطح احتمال یک درصد، دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود (جداول ۳ و ۴).

تعداد دانه‌ی پُر در طبق

بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش کم‌آبیاری و رقم (جدول ۷)، با کاهش رطوبت قابل استفاده خاک برای گیاه، از تعداد دانه در هر طبق به‌میزان ۴۶ درصد کاسته شد، به‌طوری‌که رقم اسکار در تیمار آبیاری مطلوب با میانگین ۱۶۸۷/۷ و رقم شکیرا در شرایط کم‌آبیاری ۹۰ درصد با میانگین ۹۱۶/۴، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد دانه‌ی پُر در هر طبق را داشتند. به‌نظر می‌رسد برخورد دوران رشد رویشی و زایشی گیاه با تنش رطوبتی، به‌ویژه در مرحله گل‌دهی و گرده‌افشانی، باعث خشک شدن دانه‌های گرده، کلاله مادگی و اختلال در گرده افشانی شده و در نتیجه افزایش سقط گل‌چه‌های درون طبق، یکی از دلایل کاهش تعداد دانه در طبق بوده است. در پژوهشی مشابه نیز اظهار گردیده است، کمبود آب طی مرحله زایشی باعث کاهش قدرت مقصد در جذب مواد فتوسنتزی شده و همین عاملی در کاهش تعداد گل‌چه‌های بارور طبق بوده است (Mojaddam, 2016). از طرف دیگر، با کاهش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی و کاهش قطر طبق، از توان تولید دانه در طبق نیز کاسته می‌شود (Asadzadeh *et al*., 2017).

وزن دانه‌ی پُر در طبق

مقایسه میانگین‌های برهمکنش کم‌آبیاری و رقم (جدول ۷)، نشان از کاهش ۵۰ درصدی وزن دانه در طبق در اثر کم‌آبیاری داشت، به‌طوری‌که در تیمار آبیاری مطلوب رقم اسکار با ۴۸/۵۳ گرم، بیش‌ترین وزن دانه در طبق و در تیمار کم‌آبیاری ۹۰ درصد، رقم شکیرا با ۲۴/۲۹ گرم، کم‌ترین وزن دانه در طبق را به خود اختصاص دادند. رقم لاباد نیز در هر دو شرایط کم‌آبیاری ۷۰ و ۹۰ درصد با میانگین وزن دانه‌های ۴۰/۱۱ گرم در هر طبق، بهترین عملکرد را نسبت به سایر ارقام به خود اختصاص داد. در شرایط کم‌آبیاری، رقم فلیکس با میانگین ۳/۲۲ درصد کاهش و رقم اسکار با میانگین ۲۶/۸۴ درصد کاهش در دامنه تغییرات ۲۷/۱۷ – ۲۶/۵۱ درصد در شرایط کم‌آبیاری ۷۰ و ۹۰ درصد، به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین کاهش را در وزن دانه‌های هر طبق در بین ارقام مورد بررسی نسبت به حالت آبیاری مطلوب داشتند. گزارش شده است، کاهش رطوبت خاک در طول دوره‌ی رشد، به‌ویژه در مرحله زایشی، باعث کاهش فتوسنتز به‌عنوان منبع مهم پر شدن دانه و کاهش سرعت و طول دوره پر شدن دانه و در نتیجه کاهش معنی‌دار وزن دانه‌ها در طبق می‌گردد، در صورتی که تقاضای زیاد دانه‌ها (مقصد) همچنان وجود دارد (Karimi- Kakhaki & Sepehri, 2010). بنابراین با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار وزن دانه با سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و شاخص سطح برگ (جدول ۸)، این احتمال وجود دارد که کم‌آبیاری با کاهش سطح برگ، همچنین تأثیر در بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز، موجب محدود شدن انتقال کربوهیدرات‌ها به دانه‌ها شده و در نتیجه مدت زمان پرشدن دانه‌ها و وزن آن‌ها کاهش پیدا کرده است.

عملکرد دانه

مقایسه میانگین برهمکنش کم‌آبیاری و رقم (جدول ۷) نشان داد، تیمار کم‌آبیاری نسبت به تیمار آبیاری مطلوب، موجب کاهش ۵۰ درصدی عملکرد دانه گردید، به‌طوری‌که رقم اسکار در تیمار آبیاری مطلوب با میانگین عملکرد دانه ۵/۳۴ تن در هکتار و رقم شکیرا در شرایط کم‌آبیاری ۹۰ درصد با میانگین عملکرد دانه ۲/۶۷ تن در هکتار، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه در هکتار را تولید نمودند. بیش‌ترین عملکرد دانه در شرایط کم‌آبیاری ۷۰ و ۹۰ درصد نیز توسط رقم لاباد، به‌ترتیب با میانگین‌های ۴/۴۱ و ۴/۲۸ تن در هکتار تولید شد. ارقام مورد بررسی نیز در شرایط کم‌آبیاری ۷۰ و ۹۰ درصد واکنش‌های متفاوتی از لحاظ عملکرد دانه داشتند، به‌طوری‌که رقم اسکار با میانگین کاهش ۲۶/۹۶ درصدی در دامنه تغییرات ۲۶/۵۹ – ۲۷/۳۴ درصد و رقم فلیکس با میانگین ۳/۲۸ درصد کاهش، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین کاهش عملکرد دانه را نسبت به حالت آبیاری مطلوب داشتند. در پژوهشی مشابه نیز گزارش گردید، در نتیجه‌ی کاهش اجزای عملکرد دانه، تنش کمبود آب در مرحله گل‌دهی می‌تواند موجب کاهش بیش از ۵۰ درصدی عملکرد دانه شود (Maghsoudi *et al*., 2019). به‌نظر می‌رسد هر گونه تأخیر در آبیاری منجر به کاهش عملکرد دانه از طریق کاهش طول دوره‌ی مرحله‌ی زایشی، تولید تعداد کم‌تر بذر و عدم امکان انتقال مواد فتوسنتزی برای پر شدن دانه‌ها می‌شود. همچنین کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش کمبود آب به کاهش تعداد دانه و وزن آن‌ها در طبق و قطر طبق و افزایش درصد پوکی دانه‌ها نسبت داده شده است (Izan *et al*., 2020)، زیرا همبستگی بسیار مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و اجزای عملکرد از قبیل تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه و قطر طبق وجود دارد (Sezen *et al*., 2011).

درصد روغن دانه

کم‌آبیاری با ۲۴ درصد کاهش در میزان روغن موجب گردید تا

کم‌ترین درصد روغن دانه با میانگین ۲۶/۶۷ درصد در کم‌آبیاری ۹۰ درصد و بیش‌ترین درصد روغن دانه با میانگین ۳۴/۸۸ درصد در تیمار آبیاری مطلوب به‌دست آید (جدول ۶). احتمالاً کاهش درصد روغن در شرایط کم‌آبی، به دلیل تسریع در رسیدگی دانه جهت فرار گیاه از خشکی است، چرا که در دانه‌ها ابتدا کربوهیدرات‌ها تجمع می‌یابند و سپس این ماده به روغن و یا هر ماده دیگر تبدیل می‌شود. پس هرچه طول مدت پر شدن دانه بیش‌تر باشد، درصد روغن نیز بالاتر خواهد رفت. گزارش شده است، تسریع در رسیدگی فرصت کافی برای سنتز روغن از پروتئین‌های ذخیره شده در دانه را از گیاه سلب کرده، بنابراین درصد روغن کاهش خواهد یافت (Tahramooz & Ghalavand, 2018). ارقام مورد بررسی نیز با داشتن ویژگی‌های خاص هر رقم و تحت تأثیر عوامل محیطی، دارای اختلاف ۳۱/۴۵ درصدی در میزان درصد روغن دانه بودند، به‌طوری‌که رقم اسکار با میانگین ۳۵/۹۲ و رقم لاباد با میانگین ۲۴/۶۲ درصد، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین محتوای روغن دانه را تولید نمودند (جدول ۶). اله دادی و همکاران (Alahdadi, Oraki, & Parhizkar Khajani, 2011) هم در تحقیقی جداگانه به وجود اختلاف معنی‌دار در میزان درصد روغن دانه ارقام آفتابگردان اشاره داشتند. این احتمال وجود دارد که ظرفیت دانه‌بندی متفاوت در ارقام آفتابگردان، با توجه به ژنتیک و واکنش خاص هر رقم به شرایط آبیاری، موجب تولید درصد مختلف روغن در دانه‌ها شده باشد و همان‌طور که همبستگی درصد روغن و تعداد دانه‌ی پُر در طبق نشان می‌دهد (جدول ۸)، با افزایش تعداد دانه در طبق، درصد روغن دانه نیز افزایش یافته است.

سرعت فتوسنتز

کم‌آبیاری موجب کاهش ۴۹ درصدی سرعت فتوسنتز ارقام آفتابگردان گردید، به‌طوری‌که رقم اسکار در تیمار آبیاری مطلوب با میانگین ۲۳/۱۴ میکرومول دی‌اکسیدکربن بر متر مربع در ثانیه و رقم شکیرا در تیمار کم‌آبیاری ۹۰ درصد با میانگین ۱۱/۷۷ میکرومول دی‌اکسیدکربن بر مترمربع در ثانیه، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین سرعت فتوسنتز را دارا بودند (جدول ۷). بیش‌ترین سرعت فتوسنتز در شرایط کم‌آبیاری ۷۰ و ۹۰ درصد، توسط رقم اسکار به‌میزان ۲۲/۲۸ میکرومول دی‌اکسیدکربن ثبت گردید و در بین ارقام نیز بیش‌ترین و کم‌ترین کاهش در میزان فتوسنتز در شرایط کم‌آبیاری ۷۰ و ۹۰ درصد نسبت به تیمار شاهد، به‌ترتیب توسط رقم ساوانا با میانگین ۲۳/۴۲ درصد در دامنه تغییرات ۲۳/۴۷ –۲۳/۳۷ درصد و رقم شکیرا با میانگین ۱۵/۵۱ درصد در دامنه تغییرات ۲۵/۴۵ –۵/۵۷ درصد، به‌دست آمد. بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای به‌منظور جلوگیری از تلفات آب در شرایط کم‌آبی انجام می‌شود، اما این موضوع باعث محدودیت ورود دی‌اکسیدکربن شده و یکی از دلایل اصلی کاهش فتوسنتز، به‌ویژه در مراحل اولیه تنش خشکی می‌باشد (Yazdandoost Hamedani *et al.*, 2019). سرعت فتوسنتز بیانگر موفقیت گیاه در تثبیت دی‌اکسیدکربن است که در نهایت منجر به تولید ماده‌خشک و عملکرد می‌گردد، بنابراین به‌نظر می‌رسد در پژوهش حاضر، در شرایط کم‌آبیاری، کاهش سطح برگ، میزان کلروفیل و هدایت روزنه‌ای برای جلوگیری از عدم هدرروی آب و در نتیجه جذب کم‌تر دی‌اکسیدکربن، باعث کاهش فتوسنتز در ارقام آفتابگردان گردید. در شرایط مشابه گزارش شده است، بروز تنش کم‌آبی از طریق کاهش سطح برگ و ریزش آن‌ها منجر به کاهش منبع فتوسنتزی گیاه و کاهش فعالیت آنزیم‌های مؤثر بر این فرآیند می‌گردد (Abbasi Syhejani *et al.*, 2012). در تحقیقات هادی و همکاران (Hadi *et al.*, 2012) و کِچین و همکاران (Cechin *et al.*, 2010) نیز کاهش سرعت فتوسنتز آفتابگردان در شرایط کم‌آبی گزارش گردیده است.

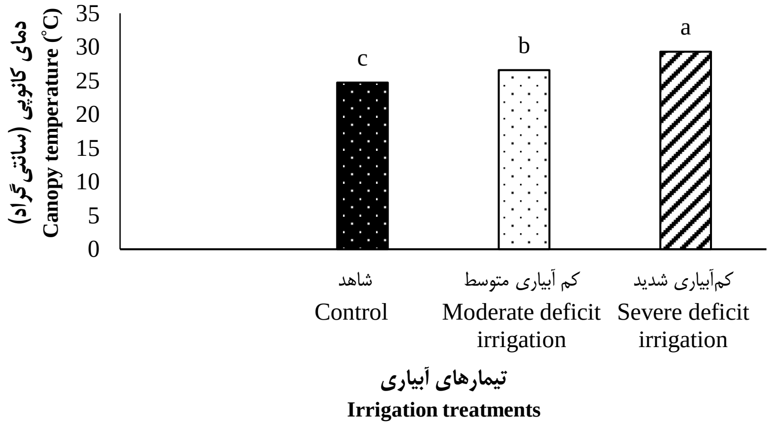
هدایت روزنه‌ای

کم‌آبیاری موجب کاهش ۲۵ درصدی هدایت روزنه‌ای نسبت به حالت آبیاری مطلوب گردید، آبیاری مطلوب با میانگین ۴۰۸ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه و کم‌آبیاری ۹۰ درصد با میانگین ۳۰۶ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین هدایت روزنه‌ای را به خود اختصاص دادند (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد، کم‌آبیاری موجب محدود شدن آب در دسترس و ایجاد تنش در داخل گیاه می‌گردد و در چنین شرایطی روزنه‌ها به‌منظور حفظ آب موجود در گیاه و مقاومت در برابر کم‌آبی، با توجه به‌شدت تنش، به‌صورت نیمه‌باز و یا به حالت بسته درمی‌آیند و این حالت، باعث کاهش هدایت روزنه‌ای از برگ‌ها می‌گردد. بسته شدن روزنه از اولین واکنش‌های گیاه به تنش اسمزی بوده و دلیل اصلی و عمده کاهش فتوسنتز در شرایط تنش است (Rahnama, Poustini, Munns, & James, 2010). گزارش شده است، در شرایط تنش رطوبتی بسته شدن روزنه‌ها پاسخی است که به‌وسیله اسید آبسزیک به‌وجود می‌آید و موجب کاهش و تنظیم تعرق می‌شود (Mehrpoyan, 2011). در پژوهشی مشابه نیز کاهش هدایت روزنه‌ای در اثر تنش کم‌آبی گزارش شده است (Vanaja *et al.*, 2011). در بین ارقام مورد بررسی نیز با توجه به ویژگی‌های ژنتیکی و میزان مقاومت در برابر کم‌آبی، رقم اسکار با میانگین ۳۸۵ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه و رقم مونالیزا هم با میانگین ۳۲۶ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین هدایت روزنه‌ای را در بین ارقام مورد بررسی دارا بودند (جدول ۶).

دمای تاج پوشش برگ

براساس نتایج حاصله، تیمار آبیاری مطلوب با میانگین دمای

۲۴/۷۲ سانتی‌گراد و تیمار کم‌آبیاری ۹۰ درصد با ۱۶ درصد افزایش دما و میانگین ۲۹/۳۰ سانتی‌گراد، به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین دمای موجود در تاج پوشش برگ را ایجاد کردند (شکل ۱). احتمالاً با توجه به بسته شدن نسبی روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای و تعرق در شرایط تنش کم‌آبی، به‌منظور کاهش تلفات آب، دمای درون تاج پوشش برگ ارقام آفتابگردان افزایش یافته است. در پژوهشی دیگر نیز گزارش شده است، در شرایط تنش، واکنش‌های فتوشیمیایی گیاه دچار اختلال شده و مقدار زیادی از انرژی خورشیدی جذب‌شده توسط برگ‌ها، مصرف نشده و به گرما تبدیل می‌شود (Ghaffari, 2014). به‌طور کلی، با توجه به این‌که تعرق راه اصلی دفع گرما و انرژی اضافه در گیاه است، این احتمال وجود دارد که بسته شدن روزنه‌ها به‌منظور جلوگیری از تعرق در شرایط کم‌آبیاری در کرت‌های آزمایشی، موجب افزایش دمای درون تاج پوشش برگ گردیده است.



شکل ۱- اثرات کم‌آبیاری بر دمای تاج پوشش برگ گیاه آفتابگردان در شرایط مزرعه

Figure 1- Effects of deficit irrigation on sunflower canopy temperature under farm conditions

اعداد دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری ندارند (براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵).

Numbers with the same letters are not significantly different (according to Duncan's test at the probability level of 0.05

درصد جذب نور در کانوپی

با توجه به نتایج، بیش‌ترین و کم‌ترین درصد جذب نور با ۲۸ درصد اختلاف به‌ترتیب با میانگین‌های ۶۳/۱۰ و ۴۵/۶۰ درصد، در تیمارهای آبیاری مطلوب و کم‌آبیاری ۹۰ درصد به‌دست آمد (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد، کاهش مقدار کلروفیل در شرایط کم‌آبیاری گیاهان باعث تغییر در نسبت جذب نور و در نتیجه کاهش کل جذب نور توسط گیاه می‌شود. در پژوهشی دیگر گزارش شده است، تنش کم‌آبی نسبت به شاهد در طول دوره‌ی رویش آفتابگردان، باعث کوچک شدن برگ‌ها می‌شود؛ درنتیجه شاخص سطح برگ، دوره رسیدن و میزان جذب نور توسط گیاه کاهش می‌یابد (Ghooshchi, 2017). بررسی جذب نور در ارقام آفتابگردان (جدول ۶) نیز نشان داد؛ رقم فلیکس با ۶۰/۱۳ درصد و رقم مونالیزا با ۴۸/۴۵ درصد به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین درصد جذب نور را با توجه به تفاوت در میزان سطح برگ ایجادشده، در بین ارقام مورد بررسی دارا بودند (جدول ۶). اختلاف در جذب نور ارقام مختلف آفتابگردان در تحقیقات مشابه، توسط هادی و همکاران (Hadi *et al*., 2012) نیز گزارش شده است.

محتوای نسبی آب برگ

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، کم‌آبیاری نسبت به تیمار آبیاری مطلوب، موجب کاهش ۲۶ درصدی محتوای نسبی آب برگ گردید، به‌طوری‌که تیمارهای شاهد و کم‌آبیاری ۹۰ درصد به‌ترتیب با میانگین‌های ۸۶/۵۸ و ۶۳/۷۸ درصد، بیش‌ترین و کم‌ترین محتوای نسبی آب برگ را دارا بودند (جدول ۶). کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌تواند به‌دلیل کاهش درصد رطوبت خاک و به تبع آن کاهش پتانسیل آب برگ در اثر افزایش شدت تنش کم‌آبی باشد. بر طبق گزارش‌های ارائه‌شده، گیاهانی که تحت شرایط کمبود آب قرار می‌گیرند، فضای بین سلولی و میزان آب در پیکره‌ی خود را از طریق افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها به حداقل می‌رسانند تا آب از بافت خاک با نیروی بیش‌تری وارد آن‌ها شود که این امر موجب کاهش میزان محتوای آب نسبی برگ در شرایط کم‌آبی می‌گردد (Arab *et al*., 2018). نتایج مشابهی نیز توسط گیتا و همکاران (Geetha *et al*., 2017) گزارش شده است. بررسی واکنش ارقام مورد آزمایش آفتابگردان نیز نشان داد، رقم اسکار با ۷۷/۱۲ درصد و رقم مونالیزا با ۷۲/۵۹ درصد به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین محتوای نسبی آب برگ را دارا بودند (جدول ۶)، به‌نظر می‌رسد علاوه بر خصوصیات ژنتیکی هر رقم و مقاومت در برابر کمبود آب، واکنش‌های

متفاوت ارقام در شرایط کم‌آبیاری و در مقابله با محیط اطراف، موجب ایجاد پتانسیل آب بالاتر در ارقام متحمل گردیده است.

شاخص سطح برگ

رقم ساوانا در تیمار آبیاری مطلوب با میانگین شاخص سطح برگ۳/۸۶ و رقم مونالیزا در شرایط کم‌آبیاری ۹۰ درصد و ۴۸ درصد کاهش با میانگین شاخص سطح برگ ۲/۰۲ به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین شاخص سطح برگ را دارا بودند و بیش‌ترین شاخص سطح برگ نیز در هر دو سطح کم‌آبیاری نسبت به آبیاری مطلوب توسط رقم فلیکس به‌میزان ۳/۱۱ مشاهده شد (جدول ۷). بر اساس برهمکنش اثرات کم‌آبیاری و رقم و تحت تأثیر شرایط ۷۰ و ۹۰ درصد کم‌آبیاری، رقم ساوانا با میانگین ۳۹/۵۰ درصد کاهش در دامنه تغییرات ۴۰/۴۱ –۳۸/۶۰ درصد و رقم فلیکس نیز با میانگین ۹/۷۷ درصد کاهش در دامنه تغییرات ۰/۳۲ و ۱۹/۲۳ درصد، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تغییرات شاخص سطح برگ را نسبت به شرایط آبیاری مطلوب داشتند. این احتمال می‌رود که کم‌ترین تغییرات شاخص سطح برگ و سطح سبز گیاه در رقم فلیکس و در نتیجه تولید مواد فتوسنتزی، یکی از دلایل پایین‌ترین میزان کاهش عملکرد دانه از تیمار آبیاری نرمال تا کم‌آبیاری ۹۰ درصد در این رقم باشد. با محدودیت آب و اعمال شرایط تنش کم‌آبی، فشار تورژسانس لازم برای رشد و گسترش برگ‌ها کاهش یافته و دینامیک رشدی برگ کاهش می‌یابد که در نتیجه سطح برگ کاهش پیدا می‌کند، این یک اثر اولیه برای جلوگیری از افزایش خروج آب از برگ‌ها به‌صورت تعرق است (Maghsoudi *et al*., 2020). همتی و سلیمانی (Hemmati & Soleymani, 2014) و هادی و همکاران (Hadi *et al*., 2012) نیز تأیید کردند که شاخص سطح برگ آفتابگردان در شرایط تنش کمبود آب کاهش می‌یابد.

شاخص کلروفیل

بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر شاخص کلروفیل نشان‌دهنده‌ی کاهش ۲۲ درصدی مقدار این صفت تحت تأثیر کمبود آب در دسترس می‌باشد، به‌طوری‌که آبیاری مطلوب با میانگین ۲۳/۱۲، بیش‌ترین میزان این شاخص و با یک روند نزولی، تیمار کم‌آبیاری ۹۰ درصد با میانگین ۱۸/۰۷، کم‌ترین میزان سبزینگی را ایجاد نمودند (جدول ۶). کاهش سبزینگی برگ در شرایط کم‌آبی ممکن است تا حدودی به‌دلیل کاهش جریان نیتروژن به بافت‌ها و فعالیت نیترات ردکتاز باشد. گزارش شده است، با کمبود رطوبت در دسترس خاک، فعالیت ریشه و در نهایت جذب نیتروژن کاهش یافته که این موضوع می‌تواند باعث کاهش کلروفیل برگ شود (Izan *et al*., 2020). در ارقام مورد بررسی نیز این اختلاف در میزان سبزینگی وجود داشت و در بین کل ارقام، رقم اسکار با میانگین ۲۷/۶۵ و رقم شکیرا با میانگین ۱۸/۸۷، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان شاخص کلروفیل را دارا بودند (جدول ۶). خصوصیات هر رقم متفاوت بوده و دارای ژنتیک خاص خود می‌باشد و به‌نظر می‌رسد تحت تأثیر شرایط محیطی و میزان نور دریافتی، غلظت کلروفیل در هر رقم متفاوت و در ارقامی که نور بیش‌تر جذب کرده‌اند، میزان سبزینگی افزایش و در ارقام با میزان کم‌تر جذب نور، کاهش نشان می‌دهد.

کارایی مصرف آب فتوسنتزی

کارایی مصرف آب در سطوح مختلف تیمارهای آبیاری، میانگین‌های متفاوتی را از آبیاری مطلوب تا کم‌آبیاری ۹۰ درصد با ۵۸ درصد اختلاف به‌وجود آورد، به‌طوری‌که رقم اسکار در تیمار آبیاری مطلوب با میانگین ۰/۵۲ میکرومول دی‌اکسیدکربن به‌ازای هر مول آب و رقم لاباد در کم‌آبیاری ۹۰ درصد با میانگین ۱/۲۳ میکرو مول دی‌اکسیدکربن به‌ازای هر مول آب، به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین کارایی مصرف آب را دارا بودند (جدول ۷)، در تیمار کم‌آبیاری ۷۰ درصد نیز رقم فلیکس با میانگین ۰/۹۶ میکرومول دی‌اکسیدکربن به‌ازای هر مول آب، بیش‌ترین کارایی مصرف آب فتوسنتزی را به‌خود اختصاص داد. کارایی مصرف آب فتوسنتزی با میزان فتوسنتز رابطه مستقیم و با سرعت تعرق رابطه عکس دارد (Yazdandoost hamedani *et al*., 2019). بنابراین هر عاملی که باعث افزایش سرعت فتوسنتز و یا کاهش میزان تعرق در این پژوهش گردید، کارایی مصرف آب فتوسنتزی را هم افزایش داد. بررسی واکنش رقم به رقم در شرایط کم‌آبیاری ۷۰ و ۹۰ درصد نیز نشان داد، کارایی مصرف آب فتوسنتزی در ارقام اسکار، فلیکس، شکیرا، ساوانا، لاباد و مونالیزا در تیمارهای کم‌آبیاری ۷۰ و ۹۰ درصد، به‌ترتیب ۴۰/۲۲، ۳۵/۸۰، ۱۱/۴۵، ۰، ۴۰/۹۸، ۰، ۲۷/۳۵، ۲۲/۰۹، ۴۵/۵۲، ۱۲/۵۰ و ۵۱/۷۲ درصد نسبت به تیمار آبیاری مطلوب، افزایش نشان دادند، به‌طور کل نیز رقم اسکار با ۳۸/۰۱ و رقم فلیکس با ۵/۷۲ درصد، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان افزایش در کارایی مصرف آب فتوسنتزی را نسبت به آبیاری مطلوب در کل تیمارهای مورد بررسی دارا بودند. افزایش کارایی مصرف آب در شرایط کم‌آبی در نتایج تحقیقات کایا و کلساریچی (Kaya & Kolsarici, 2011) نیز تایید گردیده است.

سرعت تعرق

تحت تأثیر کم‌آبیاری، سرعت تعرق به‌میزان ۷۸ درصد کاهش یافت، به‌طوری‌که رقم اسکار در تیمار آبیاری مطلوب و رقم شکیرا در تیمار کم‌آبیاری ۹۰ درصد با میانگین‌های ۴۴/۳۰ و ۹/۹۰ میکرومول آب بر مترمربع در ثانیه، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین سرعت تعرق را

دارا بودند (جدول ۷). بیش‌ترین میزان تعرق نیز در شرایط کـم‌آبیـاری ۷۰ و ۹۰ درصد با میانگین ۲۶/۲۹ میکرومول آب بر مترمربع در ثانیـه توسط رقم اسکار مشاهده شد. بر اساس بررسی مقایسه میانگین‌هـای برهمکنش اثرات کم‌آبیاری و رقم، بیش‌ترین کاهش در میزان تعرق با میانگین ۴۹/۰۸ درصد توسط رقم اسکار، در دامنـه تغییـرات ۴۰/۶۵ و ۵۷/۵۱ درصد و کم‌ترین کاهش در میزان تعـرق بـا میـانگین ۱۷/۳۵ درصد توسط رقم فلیکس، در دامنه تغییـرات ۱۲/۷۱ و ۲۱/۹۸ درصـد در تیمارهای کم‌آبیاری ۷۰ و ۹۰ درصد، ایجاد گردید. به‌نظر می‌رسد با توجه به این‌که در شرایط کمبود آب، گیاه روزنه‌های خود را به‌منظـور مقابله با تنش ایجادشده و جلوگیری از هدررفت آب موجود، به حالـت بسته یا نیمه‌باز قرار می‌دهد، لذا از این نظـر موجـب کـاهش سـرعت تعرق شده و با افزایش هرچه بیش‌تر کـم‌آبیـاری در تیمارهـای مـورد بررسی، سرعت تعرق نیز کاهش بیش‌تری پیدا کـرده اسـت. کـاهش سرعت تعرق همزمان با کاهش هدایت روزنه‌ای در شرایط کمبود آب و در اثر محدودیت‌های روزنه‌ای ایجاد مـی‌شـود و بـه‌عبـارت دیگـر، گیاهان تحت تنش از طریـق تنظـیم روزنـه‌ای، میـزان تلفـات آب را کنتـرل مـی‌کننـد (Yazdandoost hamedani *et al.*, 2019). محققین دیگر نیز در پژوهش‌های جداگانه به نتایج مشابهی دست پیدا کردند (Cechin *et al.*, 2010; Vanaja *et al.*, 2011).

جدول ٦– مقایسه میانگین اثرات کم‌آبیاری و رقم بر صفات کیفی و فیزیولوژیک آفتابگردان

Table 6– Mean comparison of deficit irrigation and cultivar on quality and physiological traits of sunflower

تیمار Treatments	درصد روغن Oil percentage (%)	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	درصد جذب نور Light absorption percentage (%)	محتوای نسبی آب برگ Relative water content (%)	شاخص کلروفیل Chlorophyll index
کم‌آبیاری Deficit irrigation					
شاهد Control	34.88^{a}	408^{a}	63.10^{a}	86.58^{a}	23.12^{a}
۷۰ درصد ظرفیت زراعی 70 % of field capacity	29.06^{b}	349^{b}	50.65^{b}	75.52^{b}	19.65^{b}
۹۰ درصد ظرفیت زراعی 90 % of field capacity	26.67^{b}	306^{b}	45.60^{b}	63.78^{c}	18.07^{c}
Cultivar رقم					
Oscar اسکار	35.92^{a}	385^{a}	59.61^{a}	77.12^{a}	27.65^{a}
Felix فلیکس	31.04^{b}	354^{abc}	60.13^{a}	75.89^{ab}	20.100^{b}
Shakira شکیرا	29.01^{b}	335^{bc}	49.14^{b}	73.68^{bc}	15.87^{c}
Savana ساوانا	30.48^{b}	357^{abc}	52^{b}	76.24^{ab}	20.15^{b}
Labad لاباد	24.62^{c}	369^{ab}	49.38^{b}	76.24^{ab}	19.34^{b}
Monaliza مونالیزا	30.17^{b}	326^{c}	48.45^{b}	72.59^{c}	18.57^{b}

در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری ندارند (براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد).

Numbers with the same letters in each column are not significantly different (according to Duncan's test at the probability level of 0.05)

همبستگی صفات مورد بررسی

نتایج همبستگی صفات مورد بررسی (جدول ۸) نشان داد، عملکرد دانه دارای بیش‌ترین میزان همبستگی مثبت و معنی‌دار با وزن دانه‌ها در طبق (**r=۰/۹۹۹) بود و نشان مـی‌دهـد هـر عـاملی کـه موجـب افزایش وزن دانه‌های طبق شود، بهره‌وری عملکرد دانـه در هکتـار را بالا می‌برد. عملکرد دانه همبستگی منفی با دمای تـاج پوشـش بـرگ (**r=-۰/۴۳۰) و کارایی مصرف آب فتوسنتزی (**r=-۰/۳۳۳) داشت، در شرایط پژوهش حاضر، افزایش دمای تاج پوشـش بـرگ و کـارایی مصرف آب ارقام آفتابگردان، در سطوح کم‌آبیاری و بـه‌دلیـل کـاهش تعرق اتفاق افتاد و این در حالی است که کم‌آبیـاری عملکـرد دانـه را نسـبت بـه تیمـار آبیـاری مطلـوب کـاهش داد و موجـب گردیـد تـا همبستگی منفی بین این صفات و عملکرد دانه ایجاد شود. همچنـین درصد روغن دانه بیش‌ترین همبستگی (**r=۰/۶۵۸) را با تعـداد دانـه در طبق دارا بود. به‌نظر می‌رسد بـا افـزایش تعـداد دانـه‌هـا در طبـق، اندازه‌ی دانه‌ها کوچک‌تر و نسبت مغـز بـه پوسـته افـزایش و موجـب بیش‌تر شدن ذخیره روغن دانه شده است. سرعت فتوسنتز همبستگی مثبت و معنی‌داری بـا هـدایت روزنـه‌ای (**r=۰/۶۸۴) داشـت، بـدین معنی که در شرایط آبیاری مطلوب و سرعت بالای هـدایت روزنـه‌ای، سرعت فتوسنتز ارقام آفتابگردان نیز روند افزایشی پیدا کرد و با توجـه به این‌که در پژوهش حاضر، در تیمارهای کم‌آبیاری دمای تاج پوشش برگ و کارایی مصرف آب روند افزایشی داشتند، ایـن شـرایط موجـب گردید تا فتوسنتز با این صفات همبستگی منفی پیدا کند.

جدول ۷- برهمکنش کم‌آبیاری و رقم بر صفات کمّی و کیفی آفتابگردان

Table 7- Interaction of deficit irrigation and cultivars on quantitative and qualitative traits of sunflower

Treatments تیمار		تعداد دانه‌ی پُر در طبق Grain number per head	وزن دانه‌ی پُر در طبق Grain weight per head (g)	عملکرد دانه Grain yield (ton ha^{-1})	سرعت فتوسنتز Photosynthetic rate (µmol $m^{-2}s^{-1}$)	شاخص سطح برگ Leaf area index	کارایی مصرف آب فتوسنتزی Water use efficiency (µmol CO_2 mol^{-1} H_2O)	سرعت تعرق Transpiration rate (µmol H_2O m^{-2} s^{-1})
شاهد Control	Oscarاسکار	1687.73^{a}	48.53^{a}	5.34^{a}	23.14^{a}	3^{bc}	0.52^{j}	44.30^{a}
	Felixفلیکس	1363.60^{b-d}	38.72^{b-f}	4.26^{b-f}	19.36^{a-d}	3.12^{b}	0.85^{d-f}	22.88^{ef}
	Shakiraشکیرا	1272.49^{d-f}	33.05^{gh}	3.63^{gh}	15.79^{d-h}	3.10^{b}	0.72^{e-h}	21.99^{fg}
	Savanaساوانا	1197.13^{d-f}	42.67^{bc}	4.69^{bc}	21.43^{a-c}	3.86^{a}	0.77^{e-h}	27.98^{c}
	Labadلاباد	1133.93^{e-h}	43.68^{ab}	4.80^{ab}	22.60^{ab}	2.92^{b-d}	0.67^{g-j}	23.54^{b}
	Monalizaمونالیزا	1466.02^{bc}	41.07^{b-d}	4.52^{b-d}	14.90^{f-i}	2.86^{b-e}	0.56^{ij}	26.66^{cd}
۷۰ درصد ظرفیت زراعی 70 % of field capacity	Oscarاسکار	1479.13^{b}	35.34^{e-h}	3.88^{e-h}	22.28^{a-c}	2.45^{ef}	0.87^{de}	26.29^{d}
	Felixفلیکس	1314.33^{b-e}	38.97^{b-e}	4.28^{b-e}	19.01^{b-e}	3.11^{b}	0.96^{cd}	19.97^{hi}
	Shakiraشکیرا	961.20^{h-j}	25.03^{i}	2.75^{i}	14.91^{f-i}	2.64^{c-f}	0.72^{e-h}	20.70^{gh}
	Savanaساوانا	1162.47^{e-g}	37.90^{c-g}	4.17^{c-g}	16.40^{d-g}	2.37^{fg}	0.69^{f-i}	23.50^{e}
	Labadلاباد	1097.47^{f-j}	40.11^{b-e}	4.41^{b-e}	18.64^{c-f}	2.64^{c-f}	0.86^{de}	21.41^{g}
	Monalizaمونالیزا	1285.67^{c-f}	31.78^{h}	3.49^{h}	11.88^{i}	2.40^{fg}	0.64^{hij}	18.89^{ij}
۹۰ درصد ظرفیت زراعی 90 % of field capacity	Oscarاسکار	1192.87^{d-g}	35.66^{e-h}	3.92^{efgh}	15.28^{e-i}	2.37^{fg}	0.81^{d-g}	18.82^{ij}
	Felixفلیکس	1257.47^{d-f}	37.47^{d-g}	4.12^{defg}	12.79^{g-i}	2.52^{d-f}	0.72^{e-h}	17.85^{j}
	Shakiraشکیرا	916.47^{i}	24.29^{i}	2.67^{i}	11.77^{i}	2.03^{g}	1.22^{ab}	9.90^{m}
	Savanaساوانا	1109^{f-i}	33.63^{f-h}	3.70^{fgh}	16.42^{d-g}	2.30^{fg}	1.06^{bc}	15.46^{k}
	Labadلاباد	926.80^{ij}	38.89^{b-e}	4.28^{bcde}	16.61^{d-f}	2.23^{fg}	1.23^{a}	13.76^{l}
	Monalizaمونالیزا	1005.4^{g-j}	32.20^{h}	3.54^{h}	12.14^{hi}	2.02^{g}	1.16^{ab}	10.50^{m}

در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری ندارند (براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد)

Numbers with the same letters in each column are not significantly different (according to Duncan's test at the probability level of 0.05)

جدول ۸- ضریب همبستگی بین صفات زراعی و فیزیولوژیک ارقام آفتابگردان در شرایط کم‌آبیاری

Table 8- Correlations coefficient between agronomic and physiological traits of sunflower cultivars under deficit irrigation

ردیف Row	صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	تعداد دانه‌ی پُر در طبق Grain number per head	1												
2	وزن دانه‌ی پُر در طبق Grain weight per head	0.500**	1											
3	عملکرد دانه Grain yield	0.500**	0.999**	1										
4	درصد روغن Oil percentage	0.658**	0.340**	0.341**	1									
5	سرعت فتوسنتز Photosynthetic rate	0.387**	0.610**	0.610**	0.395**	1								
6	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	0.413**	0.465**	0.465**	0.531**	0.684**	1							
7	دمای تاج پوشش برگ Canopy temperature	-0.507**	-0.430**	-0.430**	-0.427**	-0.514**	-0.659**	1						
8	درصد جذب نور Light absorption percentage	0.631**	0.480**	0.480**	0.604**	0.487**	0.642**	-0.585**	1					
9	محتوای نسبی آب برگ Relative water content	0.557**	0.506**	0.507**	0.466**	0.503**	0.627**	-0.726**	0.646**	1				
10	شاخص سطح برگ Leaf area index	0.401**	0.525**	0.525**	0.452**	0.516**	0.605**	-0.585**	0.526**	0.629**	1			
11	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	0.699**	0.601**	0.602**	0.599**	0.572**	0.541**	-0.467**	0.555**	0.455**	0.327**	1		
12	کارایی مصرف آب فتوسنتزی Water use efficiency	-0.561**	-0.333**	-0.333**	-0.426**	-0.078n.s	-0.287*	0.545**	-0.481**	-0.675**	-0.393**	-0.380**	1	
13	سرعت تعرق Transpiration rate	0.660**	0.667**	0.668**	0.607**	0.670**	0.639**	-0.686**	0.670**	0.762**	0.562**	0.699**	-0.715**	1

ns، * و ** به‌ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد درصد احتمال (آزمون دانکن)

ns, * & ** non– significant & significant at the 5 & 1% probability level respectively (Duncan test).

همچنین با توجه به تأثیر کم آبیاری در کاهش هدایت روزنه‌ای و تعرق، دمای تاج پوشش برگ همبستگی منفی با تمامی صفات فیزیولوژیک مورد بررسی، به‌جز رابطه‌ی مثبت و معنی‌دار با کارایی مصرف آب فتوسنتزی ($r=0/545^{**}$)، برقرار نمود. با توجه به این‌که شرایط کم‌آبیاری موجب کاهش هدایت روزنه‌ای آفتابگردان و در نتیجه تعرق کم‌تر آن می‌شود، چنین شرایطی نشان از تنش ایجاد شده به گیاه و افزایش دمای درون تاج پوشش برگ آن می‌باشد، لذا با در نظر گرفتن ارتباط افزایش دما و کارایی مصرف آب فتوسنتزی در شرایط تعرق کم‌تر، همبستگی این صفات مثبت و معنی‌دار گردید.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی و با توجه به نتایج حاصل از کاهش عملکرد آفتابگردان در شرایط کمبود آب، به‌نظر می‌رسد حداکثر عملکرد کمی و کیفی آن در شرایط آبیاری مطلوب تولید می‌گردد؛ به‌طوری‌که در پژوهش حاضر بالاترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب و توسط رقم فلیکس به‌میزان ۵/۳۴ تن در هکتار تولید گردید. علاوه بر آن کم‌آبیاری موجب کاهش میزان برخی شاخص‌های فیزیولوژیک از جمله سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، میزان جذب نور، محتوای نسبی آب برگ، شاخص سطح برگ، میزان سبزینگی و سرعت تعرق گردید و در مقابل شاخص‌های کارایی مصرف آب فتوسنتزی و دمای تاج پوشش برگ تحت شرایط کم‌آبی افزایش یافت. رقم فلیکس با توجه به کم‌ترین کاهش عملکرد دانه در شرایط کم آبی ۹۰ درصد و رقم لاباد نیز با توجه به بیش‌ترین میزان عملکرد دانه تولیدی در هر دو سطح کم‌آبی، احتمالاً به‌دلیل کاهش کم‌تر در روند فتوسنتز جاری، فعالیت آنزیمی و انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای از دیگر اندام‌ها به دانه‌ها و در نتیجه کاهش کم‌تر وزن دانه‌های پُر ارقام، به‌عنوان ارقام برتر در شرایط کمبود آب معرفی می‌شوند. در نهایت، نتایج پژوهش حاضر نشان داد، عملکرد دانه همبستگی بالایی با آب قابل‌دسترس در خاک داشت، به‌طوری‌که ارقام اسکار، شکیرا و مونالیزا در شرایط کم‌آبیاری ۷۰ و ۹۰ درصد با وجود کاهش در عملکرد دانه نسبت به شرایط آبیاری مطلوب، امّا تفاوت آماری معنی‌داری در سطوح کم‌آبیاری آن‌ها وجود نداشت و این موضوع نشان از تحمل نسبی این ارقام به شرایط کم‌آبیاری می‌باشد، ارقام فلیکس و لاباد تحمل بالایی در برابر کم‌آبیاری نشان دادند و با کاهش آبیاری در هر دو تیمار ۷۰ و ۹۰ درصد، نسبت به حالت آبیاری مطلوب، کاهش آماری معنی‌داری در عملکرد دانه در هیچ از یک تیمارهای آبیاری نداشتند و در رقم ساوانا نیز بین تیمار کم‌آبیاری ۷۰ درصد با دو تیمار آبیاری دیگر، اختلاف آماری معنی‌دار وجود نداشت. بنابراین با توجه به مقاومت ارقام فلیکس و لاباد به شرایط کم‌آبیاری، پیشنهاد می‌گردد در مناطق با کمبود آب آبیاری در دزفول و نواحی شمال خوزستان، به‌منظور صرفه‌جویی و مصرف بهینه آب، ضمن بررسی شرایط موجود، نسبت به انتخاب تیمارهای جایگزین آبیاری در زمان کشت ارقام مورد نظر و یا با افزایش فواصل آبیاری تا زمان تخلیه رطوبت خاک تا حدّ تحمل و بدون کاهش معنی‌دار در عملکرد ارقام، اقدام و آب مازاد به‌مصرف کشت‌های دیگر اختصاص یابد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله نویسندگان از حمایت‌های مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در راستای اجرای این پژوهش به شماره پژوهانه SCU.AA1401.783 تشکر و قدردانی می‌نمایند.

References

1. Abbasi Syhejani, E., Farhoush, F., Kazemi arbat, H., & Khurshidi benam, M. B. (2012). Effect of drought stress on seed yield and some morphological and physiological characteristics of sunflower. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *5*(2), 193-196. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2013.125
2. Alahdadi, I., Oraki, H., & Parhizkar Khajani, F. (2011). Investigation of the fatty acid compositions and some chemical characteristics in sunflower hybrids under water deficit stress. *Journal of Food Science and Technology*, *8*(28), 9-18. (in Persian with English abstract). https://fsct.modares.ac.ir/article-7-6326-en.html
3. Arab, R., Yadavi, A. R., Balochi, H. R., & Khadem hamzeh, H. R. (2018). The effect of irrigation interval and iron and zinc foliar application on some morpho-physiological characteristics and yield of sunflower. *Crop Production*, *11*(2), 77-90. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/EJCP.2018.12696.2018
4. Asadzadeh, N., Moosavi, S. Gh., & Seghatoleslami, M. J. (2017). Effect of irrigation regimes and application of nano and conventional ZnO and SiO2 fertilizers on yield, yield components and water use efficiency of sunflower (*Helianthus annus* L.). *Applied Research in Field Crops*, *30*(1-114), 1-17. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/AJ.2017.108423.1095
5. Canavar, Ö., & Kaptan, M. A. (2014). Changes In macro and micro plant nutrients of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress. *Scientific Papers Series A. Agronomy*, *57*(1), 136-139.
6. Cechin, I., Corniani, N., Fumis, T. D. F., & Cataneo, A. C. (2010). Differential responses between mature and young leaves of sunflower plants to oxidative stress caused by water deficit. *Ciência Rural*, *40*(6), 1290-1294.

https://doi.org/10.1590/S0103-84782010000600008

7. Darvishzadeh, R., Soleimani Gezeljeh, A., Alipour, H., Ebrahimi, A., Bihamta, M. R., & Morsali, F. (2019). Selection of oily sunflower (*Helianthus annuus* L.) drought tolerant lines using tolerance indices. *Journal of Crop Breeding*, *10*(28), 133-144. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.29252/jcb.10.28.133
8. Davodi, S., Mirshekari, B., Mirmahmodi, T., Farahvash, F., & Yazdanseta, S. (2019). The effect of seed priming with salicylic acid and ascorbic acid on antioxidant activity, seed yield and oil percentage of sunflower (*Helianthus annuus L.*) under normal and water stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *12*(4), 1251-1262. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2019.1497.1333
9. Debaeke, P., Casadebaig, P., Flenet, F., & Langlade, N. (2017). Sunflower crop and climate change: vulnerability, adaptation, and mitigation potential from case - studies in Europe. *Oilseeds and Fats, Crops and Lipids*, *24*(1), 102. 1-16.
10. Geetha, A., Sivasankar, A., & Prayaga, L. (2017). Antioxidant enzyme response in water stress sunflower genotypes. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *6*(5), 138-146. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.017
11. Ghaffari, M. (2014). Impact of water deficit in different growth stages on agronomic performance of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Oil Plant Production*, *1*(1), 1-13. (in Persian with English abstract). http://yujs.yu.ac.ir/jopp/article-1-25-en.html
12. Ghaffari, M., Toorchi, M., Valizadeh, M., & Shakiba, M. R. (2012). Morpho- physiological screening of sunflower inbred lines under drought stress condition. *Turkish Journal of Field Crops*, *17*(2), 185-190.
13. Gholinezhad, E., Darvishzadeh, R., & Bernousi, I. (2013). Effects of drought stress on grain qualitative traits in Iranian confectionary sunflower (*Helianthus annuus* L.) landraces. *Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding*, *2*(2), 9-20.
14. Ghooshchi, F. (2017). Analyzing the effects of defoliation on physiological and biochemical characteristics of sunflower undercut irrigation. *Agronomic Research in Semi Desert Regions*, *14*(4), 277-287. (in Persian with English abstract).
15. Hadi, H., Khazaei, F., Babaei, N., Daneshian, J., & Hamidi, A. (2012). Evaluation of water deficit on seed size and seedling growth of sunflower cultivars. *International Journal of Agri Science*, *2*(3), 280-290. https://www.researchgate.net/publication/284044678
16. Hemmati, M. H., & Soleymani, A. (2014). A study about some physiological indices of sunflower growth under drought stress. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, *2*(3), 553-563. (in Persian with English abstract).
17. Izan, T., Javanmard, A., Shekari, F., Sabaghnia, N., & Amin abbasi, A. (2020). Evaluation of yield, yield components and some physiological traits of sunflower with integrative application of biological, chemical, and organic fertilizers under different irrigation levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *30*(3), 87-111. (in Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.24764310.1399.30.3.6.1
18. Karimi Kakhaki, M., & Sepehri, A. (2010). Effect of deficit irrigation at reproductive growth stage on remobilization of dry matter in four sunflower (*Helianthus annus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *12*(4), 422-435. (in Persian with English abstract).
19. Kaya, M. D., & Kolsarici, O. (2011). Seed yield and oil content of some sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids irrigated at different growth stages. *African Journal of Biotechnology*, *10*(22), 4591-4595.
20. Kazemalilou, S., Najafi, N., & Reyhanitabar, A. (2017). Increasing the yield and yield components of sunflower by integrated application of phosphorus and sewage sludge under optimum and limited irrigation conditions. *Journal of Water and Soil*, *31*(6), 1637-1650. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JSW.V31I6.61402
21. Khalilvand Behrouzyar, E., Yarnia, M., Farajzadeh, E., & Herischi, M. (2014). Effects of Foliar Rates of Methanol Applications on some of Traits Related to Seed Yield of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) under Water Deficit Stress. *Journal of Crop Ecophysiology*, *2*(30), 193-202. (in Persian with English abstract).
22. Machekposhti, M. F., Shahnazari, A., Ahmadi, M. Z., Aghajani, G., & Ritzema, H. (2017). Effect of irrigation with sea water on soil salinity and yield of oleic sunflower. *Agricultural Water Management*, *188*, 69-78.
23. Maghsoudi, B., Lak, Sh., Ghaffari, M., Alavi Fazel, M., & Sakinezhad, T. (2019). Effect of agronomic traits and drought resistance indices on determination of susceptible and tolerant sunflower lines. *Agricultural Research Journal*, *11*(4), 339-358. (in Persian with English abstract).
24. Maghsoudi, B., Lak, Sh., Ghaffari, M., Alavi Fazel, M., & Sakinezhad, T. (2020). Effect of agronomic traits and drought resistance indices on determination of susceptible and tolerant sunflower lines. *Journal of Crop Production Research*, *11*(4), 339-357. (in Persian with English abstract).
25. Martin, D. L., Stegman, E. C., & Fereres, E. (1990). Irrigation scheduling principles. IN: Management of Farm Irrigation Systems. *American Society of Agricultural Engineers*, St. Joseph, MI, 1990, p 155- 203, 19 fig, 9 tab, 81 ref.

26. Mehrpoyan, M. (2011). Investigating changes in gas exchange, photosynthesis and grain yield of different sunflower cultivars under drought stress conditions. *Journal of Crop Production Research*, *3*(2), 197-205. (in Persian with English abstract).
27. Mojaddam, M. (2016). Effect of drought stress on physiological characteristics and performance Sunflower grain yield at different levels of nitrogen. *Electronic Journal Crop Production*, *9*(4), 121–136. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/EJCP.2017.10676.1841
28. Moradi- Ghahderijani, M., Jafarian, S., & Keshavarz, H. (2017). Alleviation of water stress effects and improved oil yield in sunflower by application of soil and foliar amendments. *Rhizosphere*, *4*, 54-61. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2017.06.002
29. Rahnama, A., Poustini, K., Munns, R., & James, R. A. (2010). Stomatal conductance as a screen for osmotic stress tolerance in durum wheat growing in saline soil. *Functional Plant Biology*, 37, 255-263. https://doi.org/10.1071/fp09148
30. Ritchie, S. W., Nguyen, H. T., & Holaday, A. S. (1990). Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, *30*(1), 105-111. https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x
31. Sezen, S. M., Yazar, A., Kapur, B., & Tekin, S. (2011). Comparison of drip and sprinkler irrigation strategies on sunflower seed and oil yield and quality under Mediterranean climatic conditions. *Agricultural Water Management*, *98*(7), 1153-1161. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.02.005
32. Soleymani, A. (2017). Effect of drought stress on some physiological growth indices of sunflower cultivars. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *10*, 505-519. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2017.108.1028
33. Tahramooz, A., & Ghalavand, A. (2018). Reducing the effects of water stress using vermicompost and mineral zeolite in sunflower (*Helianthus annus* L.). *Journal of Agroecology*, *10*(1), 81-93. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v10i1.50765
34. Totsky, I. V., & Lyakh, V. A. (2015). Pollen selection for drought tolerance in sunflower. *Helia*, *38*(63), 211-220. https://www.researchgate.net/publication/281446014
35. Vanaja, M., Yadav, S. K., Archana, G., Lakshmi, N. J., Reddy, P. R., Vagheera, P., & Venkateswarlu, B. (2011). Response of C4 (maize) and C3 (sunflower) crop plants to drought stress and enhanced carbon dioxide concentration. *Plant, Soil and Environment*, *57*(5), 207-215. https://doi.org/10.17221/346/2010-PSE
36. Vanclooster, M., Gonzalez, C., Vanderborght, J., Mallants, D., & Diels, J. (1994). An indirect calibration procedure for using TDR in solute transport studies. *Special publications. SP 19 - 94. US Dep. of Interior. Bureau of Mines; Washington, DC*, 215- 226.
37. Yazdandoost hamedani, M., Ghobadi, M., Ghobadi, M. E., Jalali-honarmand, S., & Saeidi, M. (2019). Influence of foliar application of some chemicals on gas exchange, water relations and photosynthetic traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under different irrigation regimes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *17*(3), 477-489. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v17i3.76843